

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор/Декан

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Б1.О.11.03 Теплотехника**

19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания

Технология организации ресторанного дела

бакалавр

заочная

## 1. Цель дисциплины

Целью освоения учебной дисциплины "Теплотехника" является формирование целостных представлений о термодинамических процессах и фундаментальных законах термодинамики и теплопереноса для эксплуатации и разработки теплотехнических систем в области сельского хозяйства и пищевой промышленности

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций ОП ВО и овладение следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-3 Способен использовать знания инженерных процессов при решении профессиональных задач и эксплуатации современного технологического оборудования и приборов	ОПК-3.1 Использует знания инженерных процессов при решении профессиональных задач	<b>знает</b> Основные законы термодинамики и тепломассообмена <b>умеет</b> Решать теплотехнические задачи с применением законов термодинамики и тепломассообмена <b>владеет навыками</b> Методами расчета теплового и воздушного режимов помещений, а также холодильных устройств

## 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теплотехника» является дисциплиной обязательной части программы.  
Изучение дисциплины осуществляется в 3 курсе (-ах).

Для освоения дисциплины «Теплотехника» студенты используют знания, умения и навыки, сформированные в процессе изучения дисциплин:

Технологическая практика

Освоение дисциплины «Теплотехника» является необходимой основой для последующего изучения следующих дисциплин:

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Метрология, стандартизация и сертификация

Проектирование комплексных предприятий общественного питания при гостиницах

## 4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу с обучающимися с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины «Теплотехника» в соответствии с рабочим учебным планом и ее распределение по видам работ представлены ниже.

Курс	Трудоемкость час/з.е.	Контактная работа с преподавателем, час			Самостоятельная работа, час	Контроль, час	Форма промежуточной аттестации (форма контроля)
		лекции	практические занятия	лабораторные занятия			
3	72/2	4	4		60	4	За

в т.ч. часов: в интерактивной форме	2	2				
---	---	---	--	--	--	--

Курс	Трудоёмкость час/з.е.	Внеаудиторная контактная работа с преподавателем, час/чел					
		Курсовая работа	Курсовой проект	Зачет	Дифференцирован ный зачет	Консультации перед экзаменом	Экзамен
3	72/2			0.12			

**5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

№	Наименование раздела/темы	Курс	Количество часов					Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Оценочное средство проверки результатов достижения индикаторов компетенций	Код индикаторов достижения компетенций
			всего	Лекции	Семинарские занятия		Самостоятельная работа			
					Практические	Лабораторные				
1.	1 раздел. Теоретические основы технической термодинамики									
1.1.	Основные понятия термодинамики	3	6	2	4		26	КТ 1	Коллоквиум	ОПК-3.1
2.	2 раздел. Основы теории теплообмена									
2.1.	Виды теплообмена	3	1	1			26	КТ 2	Коллоквиум	ОПК-3.1
3.	3 раздел. Использование теплоты в сельском хозяйстве и пищевой промышленности									
3.1.	Теплотехнические установки в сельском хозяйстве	3	1	1			8	КТ 2	Коллоквиум	ОПК-3.1
	Промежуточная аттестация		За							
	Итого		72	4	4		60			
	Итого		72	4	4		60			

**5.1. Лекционный курс с указанием видов интерактивной формы проведения занятий**

Тема лекции (и/или наименование раздел) (вид интерактивной формы проведения занятий)/ (практическая подготовка)	Содержание темы (и/или раздела)	Всего, часов / часов интерактивных занятий/ практическая подготовка
Основные понятия термодинамики	Техническая термодинамика. Законы термодинамики	2/2
Виды теплообмена	Виды теплообмена	1/-
Теплотехнические установки в сельском хозяйстве	Холодильные установки. Теплофизика сельскохозяйственных помещений. Хранение сельскохозяйственной продукции.	1/-

Итого		4
-------	--	---

### 5.2.1. Семинарские (практические) занятия с указанием видов проведения занятий в интерактивной форме

Наименование раздела дисциплины	Формы проведения и темы занятий (вид интерактивной формы проведения занятий)/(практическая подготовка)	Всего, часов / часов интерактивных занятий/ практическая подготовка	
		вид	часы
Основные понятия термодинамики	Изучение процесса адиабатного истечения газа через сужающееся сопло при имитационном моделировании	Пр	2/-/-
Основные понятия термодинамики	Холодильные установки и тепловые насосы	Пр	2/2/-
Итого			

### 5.3. Курсовой проект (работа) учебным планом не предусмотрен

### 5.4. Самостоятельная работа обучающегося

Темы и/или виды самостоятельной работы	Часы
Основные понятия термодинамики. Законы термодинамики	26
Виды теплообмена	26
Холодильные установки	8

## 6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающегося по дисциплине «Теплотехника» размещено в электронной информационно-образовательной среде Университета и доступно для обучающегося через его личный кабинет на сайте Университета. Учебно-методическое обеспечение включает:

1. Рабочую программу дисциплины «Теплотехника».
2. Методические рекомендации для организации самостоятельной работы обучающегося по дисциплине «Теплотехника».
3. Методические рекомендации по выполнению письменных работ ( ) (при наличии).
4. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы студентами заочной формы обучения (при наличии)
5. Методические указания по выполнению курсовой работы (проекта) (при наличии).

Для успешного освоения дисциплины, необходимо самостоятельно детально изучить представленные темы по рекомендуемым источникам информации:

№ п/п	Темы для самостоятельного изучения	Рекомендуемые источники информации (№ источника)		
		основная (из п.8 РПД)	дополнительная (из п.8 РПД)	метод. лит. (из п.8 РПД)
1	Основные понятия термодинамики. Основные понятия термодинамики. Законы термодинамики	Л1.1, Л1.2, Л1.4, Л1.5, Л1.7, Л1.8, Л1.9, Л1.10	Л2.1, Л2.2	Л3.1, Л3.2
2	Виды теплообмена. Виды теплообмена	Л1.1, Л1.2, Л1.4, Л1.5, Л1.7, Л1.8, Л1.9, Л1.10	Л2.1, Л2.2	Л3.1, Л3.2
3	Теплотехнические установки в сельском хозяйстве . Холодильные установки			

## 7. Фонд оценочных средств (оценочных материалов) для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине «Теплотехника»

### 7.1. Перечень индикаторов компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Индикатор компетенции (код и содержание)	Дисциплины/элементы программы (практики, ГИА), участвующие в формировании индикатора компетенции	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5
ОПК-3.1:Использует знания инженерных процессов при решении профессиональных задач	Инженерная подготовка			x	x	
	Метрология, стандартизация и сертификация				x	
	Механика			x		
	Технологическая практика		x			

### 7.2. Критерии и шкалы оценивания уровня усвоения индикатора компетенций, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Оценка знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций по дисциплине «Теплотехника» проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль проводится в течение семестра с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по её корректировке, а также для совершенствования методики обучения, организации учебной работы и

оказания индивидуальной помощи обучающемуся.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Теплотехника» проводится в виде Зачет.

За знания, умения и навыки, приобретенные студентами в период их обучения, выставляются оценки «ЗАЧТЕНО», «НЕ ЗАЧТЕНО». (или «ОТЛИЧНО», «ХОРОШО», «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» для дифференцированного зачета/экзамена)

Для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в университете применяется балльно-рейтинговая система оценки качества освоения образовательной программы. Оценка проводится при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций обучающихся. Рейтинговая оценка знаний является интегрированным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков студентов по дисциплине.

### Состав балльно-рейтинговой оценки студентов очной формы обучения

Для студентов очной формы обучения знания по осваиваемым компетенциям формируются на лекционных и практических занятиях, а также в процессе самостоятельной подготовки.

В соответствии с балльно-рейтинговой системой оценки, принятой в Университете студентам начисляются баллы по следующим видам работ:

№ контрольной точки	Оценочное средство результатов индикаторов достижения компетенций		Максимальное количество баллов
3 курс			
КТ 1	Коллоквиум		15
КТ 2	Коллоквиум		15
<b>Сумма баллов по итогам текущего контроля</b>			<b>30</b>
Посещение лекционных занятий			20
Посещение практических/лабораторных занятий			20
Результативность работы на практических/лабораторных занятиях			30
Итого			100
№ контрольной точки	Оценочное средство результатов индикаторов достижений компетенций	Максимальное количество баллов	Критерии оценки знаний студентов
3 курс			

КТ 1	Коллоквиум	15	<p>Высокий 15 баллов. Студент свободно формулирует и объясняет основные законы термодинамики (первое и второе начала), понимает физический смысл энтропии, энтальпии, внутренней энергии. Знает и умеет применять уравнение Клапейрона-Менделеева, газовые законы. Понимает различия между термодинамическими процессами (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный).</p> <p>Средний 10 Студент знает основные законы термодинамики, но может допускать неточности в формулировках или не до конца понимать физический смысл термодинамических функций.</p> <p>Удовлетворительный 3 Студент имеет общее представление о законах теплотехники, может воспроизвести первое начало термодинамики, но не понимает его физической сути и не может объяснить применение к реальным процессам. Недостаточный 0-2 Студент не знает основных законов теплотехники, не может сформулировать первое или второе начало термодинамики.</p>
КТ 2	Коллоквиум	15	<p>Высокий 15 баллов. Студент четко различает механизмы теплопередачи: теплопроводность, конвекцию, тепловое излучение. Знает закон Фурье, закон Ньютона-Рихмана, умеет рассчитывать тепловые потоки через многослойные стенки, коэффициенты теплопередачи. Понимает физический смысл критериев подобия (Nu, Re, Pr, Gr).</p> <p>Средний 10 баллов. Студент знает основные механизмы теплопередачи, но может путать их характеристики или не помнит точных формул для расчета. Имеет общее представление о критериях подобия. Удовлетворительный 5 баллов. Студент знает, что тепло может передаваться разными способами, но не может объяснить их физическую природу или рассчитать тепловой поток.</p> <p>Недостаточный 0-2 Студент не знаком с механизмами теплопередачи.</p>

## Критерии и шкалы оценивания результатов обучения на промежуточной аттестации

При проведении итоговой аттестации «зачет» («дифференцированный зачет», «экзамен») преподавателю с согласия студента разрешается выставлять оценки («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «зачет») по результатам набранных баллов в ходе текущего контроля успеваемости в семестре по выше приведенной шкале.

В случае отказа – студент сдает зачет (дифференцированный зачет, экзамен) по приведенным выше вопросам и заданиям. Итоговая успеваемость (зачет, дифференцированный зачет, экзамен) не может оцениваться ниже суммы баллов, которую студент набрал по итогам текущей и промежуточной успеваемости.

При сдаче (зачета, дифференцированного зачета, экзамена) к заработанным в течение семестра студентом баллам прибавляются баллы, полученные на (зачете, дифференцированном зачете, экзамене) и сумма баллов переводится в оценку.

## Критерии и шкалы оценивания ответа на зачете

По дисциплине «Теплотехника» к зачету допускаются студенты, выполнившие и сдавшие практические работы по дисциплине, имеющие ежемесячную аттестацию и без привязке к набранным баллам. Студентам, набравшим более 65 баллов, зачет выставляется по результатам текущей успеваемости, студенты, не набравшие 65 баллов, сдают зачет по вопросам, предусмотренным РПД. Максимальная сумма баллов по промежуточной аттестации (зачету) устанавливается в 15 баллов

Вопрос билета	Количество баллов
Теоретический вопрос	до 5
Задания на проверку умений	до 5
Задания на проверку навыков	до 5

### Теоретический вопрос

5 баллов выставляется студенту, полностью освоившему материал дисциплины или курса в соответствии с учебной программой, включая вопросы рассматриваемые в рекомендованной программой дополнительной справочно-нормативной и научно-технической литературы, свободно владеющему основными понятиями дисциплины. Требуется полное понимание и четкость изложения ответов по экзаменационному заданию (билету) и дополнительным вопросам, заданных экзаменатором. Дополнительные вопросы, как правило, должны относиться к материалу дисциплины или курса, не отраженному в основном экзаменационном задании (билете) и выявляют полноту знаний студента по дисциплине.

4 балла заслуживает студент, ответивший полностью и без ошибок на вопросы экзаменационного задания и показавший знания основных понятий дисциплины в соответствии с обязательной программой курса и рекомендованной основной литературой.

3 балла дан недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Студент может конкретизировать обобщенные знания, доказав на примерах их основные положения только с помощью преподавателя. Речевое оформление требует поправок, коррекции.

2 балла дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.

1 балл дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.

0 баллов - при полном отсутствии ответа, имеющего отношение к вопросу.

### Задания на проверку умений и навыков

5 баллов Задания выполнены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет без замечаний. Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности.

4 балла Задания выполнены в обозначенный преподавателем срок, письменный отчет с небольшими недочетами.

2 баллов Задания выполнены с задержкой, письменный отчет с недочетами. Работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы.

1 баллов Задания выполнены частично, с большим количеством вычислительных ошибок, объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.

0 баллов Задания выполнены, письменный отчет не представлен или работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов.

### 7.3. Примерные оценочные материалы для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины «Теплотехника»

1. Теплотехника. Техническая термодинамика. Основные понятия: термодинамическая система, параметры состояния термодинамической системы, термодинамический процесс.

2. Давление: определение, единицы измерения, атмосферное (барометрическое), избыточное, разреженное (вакуумметрическое). Абсолютное давление, удельный объем, плотность.

3. Температура, определение, связь с энергией молекул. Абсолютная температура. Связь между шкалами температур.

4. Равновесные и неравновесные состояния в термодинамике. Изолированная, полуизолированная, неизолированная термодинамическая система.

5. Теплоемкость газа. Истинная теплоемкость, виды теплоемкостей, средняя теплоемкость. Показатель адиабаты. Количество теплоты подводимой или отводимой в термодинамическом процессе. Уравнение Майера.

6. Уравнение Клапейрона (два вида: с объемом и с удельным объемом). Моль, молярный объем, молярная масса, закон и постоянная Авогадро. Уравнение Менделеева - Клапейрона.

7. Идеальные и реальные газы. Законы идеальных газов (записать и дать формулировки). Графики в  $p$ - $v$ -координатах.

8. Адиабатный и обобщенный политропный процесс.

9. Первый закон термодинамики. Четыре формулировки. Математическая запись.

10. Закон идеальных газов (закон Джоуля). Теплота, внутренняя энергия, работа. Энтальпия термодинамической системы.

11. Работа и теплота в изобарном, изотермическом и изохорном процессе. Формулы.

12. Второй закон термодинамики. Три формулировки. Математическая запись. Энтропия термодинамической системы. Физический смысл и свойства энтропии.

13. Круговой цикл тепловой машины. Цикл Карно. Работа и КПД цикла Карно.

14. Обратный цикл Карно. Холодильные машины. Холодильный коэффициент. Тепловые насосы.

15. Циклы ДВС Цикл Отто. График  $p$ - $v$ -координатах, работа и КПД цикла Отто. Характеристики циклов ДВС.

16. Циклы ДВС Цикл Дизеля. График  $p$ - $v$ -координатах, работа и КПД цикла Дизеля. Характеристики циклов ДВС.

17. Циклы ДВС. Цикл Тринклера. График  $p$ - $v$ -координатах, работа и КПД цикла Тринклера. Характеристики циклов ДВС.

18. Уравнение состояния реальных газов. Смеси газов.

19. Водяной пар. Диаграмма процесса парообразования. Влажный насыщенный пар, сухой насыщенный пар.

20. Влажный воздух. Точка росы. Абсолютная и относительная влажность воздуха. Влажосодержание.

21. Физическая сущность процесса передачи теплоты теплопроводностью.
22. Температурное поле стационарное, нестационарное.
23. Изотермическая поверхность.
24. Понятие градиента температуры.
25. Теплопроводность материала.
26. Плотность теплового потока. Тепловой поток.
27. Определение количества теплоты, прошедшей через однослойную стенку.
28. Термическое сопротивление однослойной стенки.
29. Коэффициент теплопередачи теплопроводностью через однослойную стенку.
30. Термическое сопротивление многослойной стенки.
31. Коэффициент теплопередачи теплопроводностью через многослойную стенку.
32. Определение количества теплоты, прошедшей через многослойную стенку.
33. Физическая сущность передачи теплоты конвективным способом.
34. Физический смысл коэффициента теплоотдачи.
35. Размерность коэффициента теплоотдачи.
36. Плотность теплового потока, тепловой поток.
37. Определение количества теплоты, переданной конвективным способом.
38. Термическое сопротивление конвективному теплообмену.
39. Коэффициент теплопередачи конвективным теплообменом.
40. Теория подобия в тепловых процессах.
41. Механизм передачи теплоты излучением.
42. Основные законы лучистого теплообмена.
43. Определение количества энергии, излучаемой поверхностью тела.
44. Общие сведения об использовании теплоты в сельскохозяйственном производстве.
45. Котельные установки, их классификация и характеристика.
46. Конструктивные особенности газотрубных и водотрубных паровых котлов.
47. Вспомогательные устройства котельной установки.
48. Топочные устройства (топки).
49. Форсунки и горелки для сжигания топлива.
50. Теплогенераторы.
51. Водонагреватели.
52. Газовые отопительные приборы.
53. Понятие сложного теплопереноса.
54. Термическое сопротивление сложному теплопереносу.
55. Коэффициент теплопередачи сложным теплопереносом.
56. Плотность теплового потока, тепловой поток, количество теплоты, переданное сложным теплопереносом.
57. Виды теплообменных аппаратов.
58. Схемы движения теплоносителей в рекуперативных теплообменных аппаратах.
59. Тепловой расчет рекуперативных теплообменников.
60. Коэффициент теплопередачи в рекуперативных теплообменниках.

#### Основы термодинамики

Первый и второй законы термодинамики в теплотехнических процессах.

Энтропия и ее роль в анализе циклов тепловых двигателей.

Термодинамические свойства идеальных и реальных газов.

Теплообмен и аппараты

Теплопередача в кожухотрубчатых теплообменниках: расчет и оптимизация.

Интенсификация процессов теплообмена в системах теплоснабжения.

Влияние загрязнения поверхностей нагрева на эффективность котлов.

Энергетические системы

Повышение КПД котельных установок за счет энергосбережения.

Модернизация систем теплоснабжения с использованием солнечных коллекторов.

Автоматизация управления технологическими процессами на ТЭЦ.

Экология и инновации

Снижение тепловых потерь в промышленных теплоэнергетических системах.

Использование альтернативных источников энергии в теплотехнике.  
Энергоаудит котельных и ТЭЦ для повышения энергоэффективности.  
Практические расчеты  
Расчет радиаторов и систем отопления жилых зданий.  
Тепловой расчет парового котла  
Проектирование вентиляции промышленного предприятия.

Термодинамическая система, не обменивающаяся теплотой с окружающей средой, называется:

- 1) открытой;
- 2) закрытой;
- 3) изолированной;
- 4) адиабатной.

Термодинамическая система, не обменивающаяся с окружающей средой веществом, называется:

- 1) закрытой;
- 2) замкнутой;
- 3) теплоизолированной;
- 4) изолированной.

Термодинамическая система, не обменивающаяся с окружающей средой ни энергией, ни веществом, называется:

- 1) адиабатной;
- 2) закрытой;
- 3) замкнутой;
- 4) теплоизолированной.

12. Термодинамический процесс, протекающий как в прямом, так и в обратном направлении называется:

- 1) равновесным;
- 2) обратимым;
- 3) неравновесным;
- 4) необратимым.

Термодинамический процесс, в котором рабочее тело, пройдя ряд состояний, возвращается в начальное состояние, называется:

- 1) необратимым;
- 2) равновесным;
- 3) обратимым;
- 4) неравновесным.

Закон Авогадро утверждает, что все идеальные газы при одинаковых  $p$  и  $T$  в равных объёмах содержат одинаковое число:

- 1) атомов;
- 2) молекул;
- 3) степеней свободы;
- 4) молей.

Теплоёмкость, определенная при постоянном давлении называется:

- 1) изохорной;
- 2) изобарной;
- 3) истинной;
- 4) средней.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

### основная

Л1.1 Круглов Г. А., Булгакова Р. И., Круглова Е. С., Андреева М. В. Теплотехника. Практический курс [Электронный ресурс]:учеб. пособие; ВО - Бакалавриат. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 192 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/210014>

Л1.2 Кудинов А. А. Тепломассообмен [Электронный ресурс]:учеб. пособие ; ВО - Бакалавриат. - Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2022. - 375 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/document?id=399512>

Л1.3 Семенов Ю. П. Основы тепломассообмена [Электронный ресурс]:учеб. пособие ; ВО - Бакалавриат, Магистратура. - Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2021. - 246 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/document?id=368957>

Л1.4 Бабакин Б. С., Суслов А. Э., Фатыхов Ю. А., Эрлихман В. Н. Теплонасосные установки в отраслях агропромышленного комплекса [Электронный ресурс]:учебник ; ВО - Бакалавриат, Магистратура, Специалитет, Аспирантура. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 336 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/211418>

Л1.5 Круглов Г. А., Булгакова Р. И., Круглова Е. С. Теплотехника [Электронный ресурс]:учеб. пособие; ВО - Бакалавриат. - Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 208 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/263066>

Л1.6 Захаров А. А. Применение теплоты в сельском хозяйстве:учебник для студентов с.-х. вузов по инженерным специальностям. - М.: Агропромиздат, 1986. - 288 с.

Л1.7 Яновский А. А. Тепло- и массообмен:учеб. пособие. - Ставрополь, 2020. - 1,10 МБ

Л1.8 Яновский А. А. Теплотехника на производстве:учеб. пособие. - Ставрополь, 2020. - 798 КБ

Л1.9 Яновский А. А. Теплотехника:учеб. пособие. - Ставрополь, 2020. - 1,67 МБ

Л1.10 Семенов Ю. П., Левин А. Б. Теплотехника [Электронный ресурс]:учебник; ВО - Бакалавриат. - Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2023. - 400 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/document?id=422763>

### дополнительная

Л2.1 Пермяков А. В., Вобликова Т. В. Основы теплопередачи и методы расчета теплообменной аппаратуры:учеб. пособие. - Ставрополь: АГРУС, 2015. - 399 КБ

Л2.2 Яновский А. А. Техническая термодинамика:учеб. пособие для студентов по направлениям 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 36.03.06 "Агроинженерия". - Ставрополь, 2017. - 2,73 МБ

б) Методические материалы, разработанные преподавателями кафедры по дисциплине, в соответствии с профилем ОП.

Л3.1 Синявский Ю. В. Сборник задач по курсу "Теплотехника" [Электронный ресурс]:учеб. пособие ; ВО - Бакалавриат, Специалитет. - Санкт-Петербург: ГИОРД, 2010. - 128 с. – Режим доступа: [https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=4907](https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4907)

Л3.2 Исаев А. П., Кожевникова Н. Г. Гидравлика [Электронный ресурс]:учебник ; ВО - Бакалавриат. - Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2019. - 420 с. – Режим доступа: <http://new.znanium.com/go.php?id=937454>

## 9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

№	Наименование ресурса сети «Интернет»	Электронный адрес ресурса
---	--------------------------------------	---------------------------

1	Автоматизация роботизация технологических процессов	<a href="https://rza-forum.ru/?etext=2202.tsl4Dt15ZjYgpvFrzUTVIcytcHHZO0_CNvadEhuqLdBkwtMdFDDx-buNJTWPsjkV_HidxO0HJaVT_NgEfZHMHVtBEasQ2wcrklFuud2USx6G85-AkrfKD-jJBo9yJ1TZyU4tItMBHcToSwl0ZoDeWFidnFtYWp4YnZpemFwaXo.130727afed46038bada45dfdb3bd5fcd70cd5cb1&amp;yclid=4997399693178437631&amp;ybairp=1">https://rza-forum.ru/?etext=2202.tsl4Dt15ZjYgpvFrzUTVIcytcHHZO0_CNvadEhuqLdBkwtMdFDDx-buNJTWPsjkV_HidxO0HJaVT_NgEfZHMHVtBEasQ2wcrklFuud2USx6G85-AkrfKD-jJBo9yJ1TZyU4tItMBHcToSwl0ZoDeWFidnFtYWp4YnZpemFwaXo.130727afed46038bada45dfdb3bd5fcd70cd5cb1&amp;yclid=4997399693178437631&amp;ybairp=1</a>
2	Автоматизация и роботизация производства	<a href="https://promcc.ru/avtomatizaciya-i-robotizaciya-proizvodstva">https://promcc.ru/avtomatizaciya-i-robotizaciya-proizvodstva</a>

## 10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ КУРСА ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАЗДЕЛОВ КУРСА

Теоретические основы теплотехники являются базисом для изучения последующих разделов курса, определяют возможности студента творчески решать теплотехнические вопросы. Для закрепления теоретического материала необходимо добиваться четкого представления о физической сущности явлений и процессов, рекомендуется составлять конспект, решать задачи, а также использовать вопросы для самопроверки. Для студентов, обучающегося по направлению 35.03.06 - Агроинженерия по профилю Технические системы в агробизнесе и по профилю Электрооборудование и электротехнологии, по направлению Поэтому изучение материала следует сочетать с работой по приобретению навыков методики преподавания конкретных тем.

По наиболее важным темам следует составить план занятия, в котором от-разить метод, цель занятия и его структуру (план с указанием отдельных вопросов темы и отведенного на них времени, наглядные пособия).

При планировании учебного материала в начале курса обучения необходимо предусмотреть вопросы, касающиеся места и роли изучаемого предмета в процессе обучения, обратить внимание на число часов, отводимых в техникуме на урок и на лабораторно-практические занятия.

В теоретической части курса решающее значение имеет урок с сообщением новых знаний и использованием наглядных пособий в виде принципиальных схем тепловых и холодильных машин, диаграмм в координатах  $p$ ,  $T_s$ ,  $h_s$  и  $h_d$ , кинофильмов, диафильмов, диапозитивов.

В плане занятий необходимо предусмотреть экскурсии как урок особого вида, а также контроль знаний, который помогает учащимся ощущать результат своего труда.

При изложении материала следует подчеркнуть практическую направленность предмета, обратить внимание на раскрытие физической сущности изучаемых явлений и закономерностей, строго соблюдать обозначения и раз-мерности величин.

#### Раздел 1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

##### Тема 1. Основные понятия и определения

Основной задачей технической термодинамики является изучение закономерностей взаимного превращения теплоты и работы и установление эффективных способов осуществления этого превращения. Материалы этой темы: предмет и задачи технической термодинамики; энергия и ее свойства; теплота и работа; рабочее тело; параметры состояния тел, используемых в тепловых машинах; термодинамическая система и процесс; равновесные и неравновесные состояния; обратимый и необратимый процессы являются основой для изучения последующих тем. Поэтому следует обратить внимание на четкое усвоение основных понятий и определений.

##### Тема 2. Смеси идеальных газов. Теплоемкость

Здесь основное внимание следует обратить на способы задания смеси газов, соотношение между массовыми, объемными и мольными долями, на основные законы, связанные со смесями идеальных газов, на уравнение состояния идеального газа.

Одной из важнейших сторон теплотехнического расчета является подсчет количества

теплоты, полученной или отданной рабочим телом, с использованием физической величины, называемой теплоемкостью. Необходимо разобраться в названиях и единицах измерения, формулах и таблицах для определения теплоемкости; факторах, влияющих на величину теплоемкости; зависимость теплоемкости от температуры, от вида термодинамического процесса, а также выяснить, почему теплоемкость газа при постоянном давлении  $c_p$  больше теплоемкости газа при постоянном объеме  $c_v$ .

### Тема 3. Первый закон термодинамики

Как известно, I-й закон термодинамики является частным случаем всеобщего закона сохранения и превращения энергии в приложении к исследуемым в термодинамике тепловым процессами. Изучение материала следует начать с усвоения сущности I-го закона термодинамики, его формулировок и аналитического выражения.

При составлении энергетических балансов тепловых процессов необходимо четко усвоить, на что расходуется теплота, подводимая к телу; обратить внимание на энергетические параметры состояния, на принципиальное различие между функциями состояния - внутренней энергией, энтальпией и функциями процесса - теплотой и работой; разобраться в графических формах изображения работы и теплоты в  $p$  и  $T_s$  координатах.

### Тема 4. Исследование термодинамических процессов

Исследования процессов производятся с использованием первого закона термодинамики, характеристического уравнения состояния газов и понятия теплоемкости. Изучение темы следует начать с политропных процессов. Обратите внимание на обобщающее значение политропного процесса, на вывод уравнения политропы и его показателя, на графический анализ основных термодинамических процессов (изохорного, изобарного, изотермического и адиа-батного) в  $p$  и  $T_s$  координатах.

### Тема 5. Второй закон термодинамики

Второй закон термодинамики указывает направление протекания энергетических процессов и характеризует условия превращения теплоты в работу, условие переноса теплоты с низшего температурного уровня на высший. При изучении этой темы необходимо прежде всего уяснить физическую сущность второго закона термодинамики и его формулировки, особенности прямого и обратного циклов Карно, сделать выводы из обобщений обратимых и необратимых циклов. Уясните смысл функции состояния - энтропии, но не смешивайте понятия «энтропия тела» и «энтропия системы». Освойте изображение циклов в  $p$  и  $T_s$  диаграммах. Для анализа совершенства тепловых процессов большое значение имеет умение пользоваться понятиями: термический КПД, холодильный коэффициент. Разберитесь в математических выражениях второго закона термодинамики, в определении абсолютной температуры как интегрирующего делителя в объединенном уравнении I-го и II-го законов термодинамики.

Рассматривая Вселенную как изолированную систему, Р. Клаузиус и У. Томсон пришли к выводу о возрастании ее энтропии и, как следствие, возможной «тепловой смерти». Материал этой темы может быть использован для методической разработки занятия (урока) с учащимися сельскохозяйственного техникума.

### Тема 6. Термодинамические свойства и процессы реальных газов

Из используемых в технике паров различных веществ наибольшее распространение имеет водяной пар. Необходимо четко усвоить, что водяной пар в общем случае нельзя принять за идеальный газ и к нему при высоких давлениях нельзя применять уравнения идеальных газов; что ввиду сложности аналитического выражения связи между параметрами состояния, процессы и циклы для пара рассчитываются с помощью таблиц и основной диаграммы  $h_s$ . Уясните себе структуру уравнений для реальных газов Ван-дер-Ваальса и других авторов. Следует обратить внимание на определение параметров пара различного состояния, на определение количества теплоты, необходимой для его получения; на различие в общем случае линий для пара и газа, характеризующих основные термодинамические процессы в  $p$  и  $T_s$  диаграммах. Так, для газа в изотермическом процессе изменение внутренней энергии равно нулю, а для пара  $A_y$  не равно нулю и т.д.

### Тема 7. Влажный воздух

С процессами, в которых происходит изменение состояния влажного воз-духа, приходится встречаться при расчете сушильных устройств, систем вентиляции, кондиционирования. Обратите внимание на основные определения (сухой, влажный, насыщенный, ненасыщенный воздух, температура точки росы и температура мокрого термометра и др.) и параметры влажного воздуха

(абсолютная и относительная влажность, влагосодержание, плотность, энтальпия), на расчеты наиболее характерных процессов (нагревание, охлаждение, смешение, адиабатное увлажнение) с использованием  $h_d$  диаграммы, на правомерность применения законов идеального газа для влажного воздуха, на размерность энтальпии влажного воздуха и влагосодержания, отнесенных к 1 кг сухого воздуха.

#### Тема 8. Термодинамика потока газов и паров

Работа многих машин и устройств основана на использовании кинетической энергии движущегося газа или пара. Изучение темы необходимо начать с изучения I-го закона термодинамики для потока и уравнения сплошности, с рассмотрения допущений, положенных в основу при выводе уравнения энергии для потока, остановиться на уравнениях, определяющих располагаемую работу, на ее изображении в  $rs$  координатах, на уравнениях скорости истечения, секундного расхода, критических параметрах, параметрах (температуре и давлении) заторможенного потока.

Обратите внимание на изображение процесса истечения в  $hs$  диаграмме. Уясните себе, что при адиабатном обратимом истечении газов и паров увеличение кинетической энергии рабочего тела равно уменьшению его энтальпии. Далее необходимо разобраться в условиях перехода от дозвуковых скоростей потока к звуковым и сверхзвуковым, в каком из этих случаев используется суживающееся сопло и в каком комбинированное сопло (или сопло Лаваля); какие уравнения применяются для расчета скорости потока в критическом и выходном сечениях комбинированного сопла.

#### Тема 9. Дросселирование газов и паров

Процессы изменения состояния с падением давления связаны с прохождением газа или пара через суживающееся сечение канала. Уясните особенности адиабатного дросселирования, при котором энтальпия, а для идеального газа и температура, до и после дросселирования, не изменяются. В случае дросселирования реальных газов (паров) неизменность их температуры не соблюдается, что можно наглядно представить в  $hs$  диаграмме. В этой теме в первую очередь надо уяснить смысл дифференциального дроссель-эффекта и температуры инверсии; обратить внимание на изменение параметров состояния газа при дросселировании; особенности дросселирования идеального газа; объяснить условия сжижения газа при дросселировании. Следует различать адиабатное дросселирование ( $q = 0, A_s > 0$ ) и адиабатное обратимое расширение ( $q = 0, A_s = 0$ ).

#### Тема 10. Циклы теплосиловых установок

Для простоты исследования действительные циклы идеализируются. Исследование циклов, состоящих из обратимых процессов, позволяет использовать при анализе их термодинамической эффективности закономерности, полученные для идеальных газов.

Циклы двигателей внутреннего сгорания различаются по способу подвода теплоты: с подводом теплоты при постоянном объеме, постоянном давлении и со смешанным подводом теплоты. При этом необходимо обратить внимание на параметры цикла (степень сжатия, степень повышения давления, степень предварительного расширения); на аналитический и графический анализы с выводом формул удельной работы и КПД цикла. Студент должен освоить сравнительный анализ циклов в  $Ts$  диаграмме.

#### Тема 11. Термодинамический анализ процессов, в компрессорах

На привод компрессора затрачивается работа извне. Необходимо уяснить себе преимущества изотермического сжатия, причины применения многоступенчатого сжатия и промежуточного охлаждения рабочего тела в компрессорах, как зависит работа привода компрессора (или техническая работа) от величины показателя политропы сжатия, какова связь между технической работой и работой процесса сжатия, изображение рабочего процесса компрессора в  $pv$  и  $Ts$  координатах.

#### Тема 12. Циклы паросиловых установок (ПСУ)

Изучение идеальных циклов паросиловых установок следует начать с цикла Карно. При этом надо учесть, что так же, как и в случае ДВС, цикл Карно в реальных установках не используется. Основным циклом паросиловых установок является цикл Ренкина. Изучите схему паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина, изображение цикла Ренкина в  $pv$  и  $Ts$  диаграммах; рассмотрите вопрос о способах повышения экономичности паросиловых установок, тесно связанных с обеспечением надежности работы паровой турбины. Уясните термодинамические основы теплофикации.

#### Тема 13. Циклы холодильных установок и тепловых насосов

Тема является весьма актуальной, так как холодильные установки и тепловые насосы находят все большее применение в сельском хозяйстве. При изучении темы необходимо прежде всего разобраться в принципиальных схемах холодильных установок (паровых компрессионных и абсорбционных).

Показателем совершенства цикла является холодильный коэффициент<sup>^</sup>. Уясните себе, от чего зависит коэффициент. Следует обратить внимание на изображение цикла паровой компрессионной холодильной машины в  $T_s$  диаграмме и его принципиальное отличие от обратного цикла Карно. Далее необходимо изучить принцип работы теплового насоса и сделать заключение о целесообразности его использования для нужд теплофикации.

Уясните сущность коэффициента преобразования теплоты.

Вопросы для самопроверки Тема 1

1. Что изучается в технической термодинамике?
2. Что понимается под термодинамической системой?
3. Какими основными параметрами характеризуется состояние рабочего тела?
4. Какое состояние называется равновесным и какое неравновесным?
5. Что называется термодинамическим процессом? Какие процессы называются обратимыми и какие - необратимыми?

Тема 2

1. Какие способы задания смеси газов вам известны?
2. Выведите уравнения связи между массовыми и объемными долями.
3. Напишите уравнение состояния идеального газа и приведите размерности входящих в него величин.
4. Какая разница между характеристической и универсальной газовыми постоянными?
5. Чем отличается истинная теплоемкость от средней?
6. Почему теплоемкость газа при постоянном давлении больше, чем при постоянном объеме?

Тема 3

1. В чем заключается сущность I-го закона термодинамики?
2. Дайте формулировки и аналитические выражения первого закона термодинамики. Объясните физическую сущность величин, входящих в уравнения первого закона термодинамики.
3. Что понимается под внутренней энергией и энтальпией?
4. Дайте примеры функций состояния и функций процесса.
5. Как изображается работа расширения объема и техническая работа в  $p$  и  $T_s$  координатах?

Тема 4

1. Что такое политропный процесс? Каковы значения показателя политропы и теплоемкости для основных термодинамических процессов? Изобразите эти процессы в  $p$  и  $T_s$  координатах.
2. В каком процессе вся подведенная теплота идет на увеличение внутренней энергии и в каком процессе на совершение работы?
3. В каком процессе подведенная к рабочему телу теплота численно равна изменению энтальпии и в каком процессе работа совершается лишь за счет уменьшения внутренней энергии?

Тема 5

1. В чем заключается сущность второго закона термодинамики?
2. Приведите основные формулировки второго закона термодинамики.
3. Какие машины работают по прямому циклу и какие по обратному? Чем оценивается их эффективность?
4. Изобразите в  $p$  и  $T_s$  диаграммах цикл Карно и напишите формулу его термического КПД.
5. Что называется энтропией рабочего тела?
6. Как изменяется энтропия изолированной системы в случае протекания в ней необратимых процессов?
7. Что такое эксергия? Для чего она служит?
8. Что показывает термический КПД?
9. Что означает холодильный коэффициент?

Тема 6

1. Что такое испарение и кипение?

2. Почему в теории рассматривается именно процесс парообразования при  $p = \text{const}$ ? Изобразите его в  $p$ ,  $T_s$  и  $h_s$  диаграммах. Назовите области пара различного состояния.

3. Что понимается под сухим и влажным насыщенным паром, перегретым паром, степенью перегрева, степенью сухости, скрытой теплотой парообразования?

4. В  $T_s$  диаграмме покажите площади, соответствующие скрытой теплоте парообразования, теплоте перегрева пара, энтальпии сухого и перегретого пара. Как изменяется теплота парообразования с изменением давления?

5. Какой физический смысл пограничных кривых?

6. Приведите формулы для определения работы, теплоты и изменения внутренней энергии в процессе парообразования. Как определить удельный объем, энтальпию и энтропию влажного пара?

7. Чем характерна критическая точка?

8. Изобразите основные термодинамические процессы с паром в  $p$ ,  $T_s$  и  $h_s$  диаграммах.

9. Что учитывается при выводе уравнения Ван-дер-Ваальса?

Тема 7

1. Дайте определение влажного воздуха.

2. Что такое насыщенный и ненасыщенный влажный воздух?

3. Что такое абсолютная, относительная влажность, влагосодержание воздуха?

4. В чем особенность размерности энтальпии влажного воздуха и как она подсчитывается?

5. Что такое температура точки росы?

6. Изобразите в  $h_d$  координатах процесс нагревания и сушки в идеальной сушилке. Почему в этом случае процесс нагревания протекает при постоянном влагосодержании, а процесс сушки при неизменной энтальпии?

Тема 8

1. Напишите уравнение I закона термодинамики потока.

2. Напишите уравнение энергии газового потока и дайте объяснение отдельным членам, входящим в него.

3. Что такое располагаемая работа и что такое работа проталкивания?

4. Дайте изображение располагаемой работы в  $p$ ,  $v$  координатах.

5. Дайте аналитическое описание критических параметров потока при истечении газа или пара из сопла.

6. В каких случаях и почему используется суживающееся сопло?

7. При каких условиях применяется комбинированное сопло (сопло Лаваля)? Почему в закритической области расход газа не зависит от перепада давления?

8. Нарисуйте зависимость скорости истечения и секундного расхода в функции перепада давления для суживающегося и для комбинированного сопла.

9. Изобразите процесс истечения в  $h_s$  диаграмме.

Тема 9

1. Какой процесс называется дросселированием?

2. Как изменяется энтальпия, энтропия и температура идеального газа при дросселировании?

3. Как изменяются энтальпия, энтропия, объем и температура реального газа при дросселировании?

4. Что называется эффектом Джоуля-Томпсона, как он записывается аналитически?

5. Что такое температура инверсии?

6. Изобразите процесс дросселирования влажного и перегретого пара в  $h_s$  диаграмме и объясните, как изменяются при этом их параметры.

Тема 10

1. Какой цикл называется идеальным?

2. Почему процессы сжатия и расширения во всех идеальных циклах тепловых двигателей принимаются адиабатными?

3. Изобразите циклы поршневых ДВС в  $p$  и  $T_s$  координатах и дайте их сравнительный анализ. Чем определяется название циклов?

4. Какими параметрами определяется термический КПД каждого цикла? Тема 11

1. Что называется компрессором?

2. Изобразите в  $p_v$  и  $T_s$  диаграммах рабочий процесс одноступенчатого и двухступенчатого поршневого компрессора.

3. Покажите, как зависит работа привода компрессора от величины показателя политропы сжатия.

4. Как влияет показатель политропы сжатия на конечную температуру газа в одноступенчатом компрессоре?

5. Какие преимущества имеет двухступенчатый компрессор перед одно-ступенчатым?

6. Приведите аналитическую связь между работой процесса сжатия и технической работой (или работой привода компрессора).

Тема 12

1. Изобразите в координатах  $p$ ,  $T_s$  и  $h_s$  цикл Ренкина.

2. Как влияют начальные параметры пара (температура и давление) на величину термического КПД цикла?

3. Для чего применяется вторичный перегрев пара?

4. В чем заключается сущность и экономическая целесообразность совместной выработки электроэнергии и теплоты?

Тема 13

1. Нарисуйте принципиальные схемы холодильных установок.

2. Изобразите цикл паровой компрессионной холодильной машины в  $T_s$  диаграмме и рассмотрите принципиальное (отличие цикла от обратного цикла Карно)

3. Какой параметр характеризует эффективность холодильной машины?

4. Изобразите принципиальную схему теплового насоса и опишите его работу. В каких случаях целесообразно применять тепловой насос?

5. Что такое коэффициент преобразования?

Раздел 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ТЕПЛОМАССООБМЕНА

В начале этого раздела обратите внимание на роль теплообмена в различных сельскохозяйственных процессах.

Тема 1. Основные понятия и определения

Во многих технических процессах передача энергии осуществляется в форме теплоты и практически без переноса массы, поэтому для упрощения сначала следует рассмотреть элементарные процессы теплообмена: теплопроводность, конвекцию и излучение. При изучении темы необходимо разобраться в этих понятиях, обратив особое внимание на физические основы процессов переноса энергии массы, а также в понятиях: теплоотдача, теплопередача, стационарный и нестационарный режимы теплообмена, ламинарный и турбулентный режимы течения, температурное поле, температурный градиент.

Тема 2. Теплопроводность

Аналитическая зависимость переноса теплоты теплопроводностью выражается законом Фурье. Уясните физический смысл теплопроводности  $\chi$ , входящей в уравнение Фурье, и запомните ее размерность. Далее необходимо обратить внимание на упрощения и граничные условия первого и третьего рода, позволяющие из общего выделить частное при решении дифференциальных уравнений теплопроводности для плоской и цилиндрической стенок. Для многослойных плоских и цилиндрических стенок, часто встречающихся на практике (стены домов, трубы с изоляцией или со слоем накипи и т.д.), расчеты теплопроводности удобно проводить с использованием величин их термических сопротивлений. Обратите внимание на понятие температуропроводность, на расчет теплопроводности тел с внутренними источниками теплоты, на аналитические и численные методы решения задач нестационарной теплопроводности.

Тема 3. Конвективный теплообмен

В теории теплообмена процессы конвективного переноса теплоты являются наиболее сложными. Решение задач с помощью дифференциальных уравнений математической физики, описывающих тот или иной процесс конвективного теплообмена, не всегда возможно. В инженерной практике для решения задач конвективного теплообмена широко используется теория подобия и теория моделирования.

Ознакомьтесь с работами по теории подобия, с основными числами подобия (Нуссельта, Рейнольдса, Грасгофа, Прандтля), критериальными уравнениями для свободного и вынужденного движения теплоносителя. Обратите внимание на теорему Кирпичева-Гухмана об условиях подобия конвективного теплообмена. Уясните смысл уравнения Ньютона-Рихмана, коэффициента

теплоотдачи, чисел подобия, что они характеризуют; пределы и условия использования критериальных уравнений, определяющие геометрические размеры и температуры, соответствующие этим условиям (при свободном и вынужденном движении теплоносителя, ламинарном или турбулентном режимах течения и при различных условиях обтекания тел). Материал этой сложной темы рекомендуется для методической разработки.

#### Тема 4. Теплообмен при изменении агрегатного состояния жидкости

В этой теме следует обратить внимание на физическую сущность процессов теплообмена при кипении и конденсации, что позволит вам разобраться в причинах снижения коэффициента теплоотдачи а при переходе от пузырькового режима кипения к пленочному, или при образовании на поверхности теплообмена конденсатной и газовой пленок. Изучите расчетные формулы для определения коэффициентов теплоотдачи, уясните себе возможные последствия превышения критической тепловой нагрузки. Исходя из причин снижения коэффициента теплоотдачи в теплообменниках, разрабатываются режимы и мероприятия их устраняющие, а именно: устанавливаются оптимальные тепловые нагрузки при кипении, удаляются конденсатная и газовые пленки и др. Уделите внимание этому вопросу.

#### Тема 5. Теплообмен излучением

При изучении этой темы программа предусматривает, что студент знаком из курса физики с основными законами лучистого теплообмена. В отличие от теплопроводности и конвекции при лучистом теплообмене происходит двойное превращение энергии. Необходимо четко уяснить физическую сущность лучистого теплообмена; разобраться в конкретных задачах лучистого теплообмена: между абсолютно черными, серыми телами, произвольно расположенными в пространстве; между телом и оболочкой; в механизме защитного действия экранов. Особое внимание уделите лучистому теплообмену между газом и стенкой, часто встречающемуся на практике, разберитесь в методике определения степени черноты газа и коэффициента теплоотдачи излучением.

#### Тема 6. Теплопередача

Теплопередачей принято называть сложный теплообмен между двумя средами, разделенными перегородкой. В этой теме следует обратить внимание на составление и решение инженерных задач по теплопередаче через плоскую и цилиндрическую стенки, на допускаемые при этом упрощения, на размерность коэффициента теплопередачи  $k$ , на методы интенсификации процесса теплопередачи, а также на условия снижения интенсивности процесса теплопередачи (тепловая изоляция).

#### Тема 7. Расчет теплообменных аппаратов

Определение величины поверхности нагрева теплообменников производится лишь при проектировании новых аппаратов. Для теплообменников, находящихся в эксплуатации, производятся поверочные расчеты с целью уточнения режимов работы и сроков профилактических осмотров.

Студент должен четко представлять себе основные различия между теплообменниками рекуперативного, регенеративного и смешительного типов, особенности их использования и расчета, в чем заключаются преимущества противоточной схемы теплообменника перед прямоточной, особенности расчета теплообменных аппаратов с внутренними источниками теплоты. Усвойте методику определения среднего температурного напора между двумя теплоносителями, построение графиков изменения их температур.

Эта тема, имеющая большое практическое значение, может быть рекомендована для методической разработки.

#### Тема 8. Основы массообмена

Процессы теплообмена в ряде случаев, например при сушке зерна, со-проводятся процессами переноса массы вещества, которые нельзя не учитывать при расчетах.

Изучение темы следует начать с усвоения основных терминов: массообмен, диффузия молекулярная, молярная, термодиффузия и т. д. Далее следует ознакомиться с законом Фика, характеризующим интенсивность концентрационной диффузии, с общим выражением плотности диффузионного потока или потока массы. Плотность вещества в движущейся среде определяется суммой конвективного переноса и молекулярной диффузии. При сушке влажного материала механизм переноса теплоты и влаги отличается от процессов, протекающих при испарении жидкости со свободной поверхности. Изучите основные законы переноса теплоты и массы во влажных материалах, числа подобия тепломассообмена, основные критериальные уравнения,

коэффициенты переноса теплоты и вещества.

Вопросы для самопроверки

Тема 1

1. Опишите механизм переноса теплоты теплопроводностью и конвекцией.
2. Что понимается под стационарным и нестационарным режимами тепло-обмена?
3. Дайте определение и аналитическое выражение температурного поля в общем виде, а также определение и геометрическое изображение температурного градиента.

Тема 2

1. Сформулируйте и напишите в дифференциальной форме основной закон теплопроводности.
2. Какова размерность и физический смысл теплопроводности  $\lambda$ ? Чем задаются краевые условия?
3. Используя граничные условия, опишите аналитически в конечных разностях и дайте графическое изображение закона распределения температуры по толщине плоской и цилиндрической стенки на стационарном режиме.
4. Дайте аналитическое соотношение для линейной (отнесенной к 1 м длины трубы) и поверхностной плотности теплового потока через цилиндрическую стенку.
5. Дайте анализ уравнений температурного поля и плотности теплового потока в плоской стенке с внутренними источниками теплоты.

Тема 3

1. Напишите уравнение конвективной теплоотдачи Ньютона-Рихмана и сделайте его анализ.
2. От каких факторов зависит коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  и какова его размерность?
3. Что характеризуют числа Нуссельта ( $Nu$ ), Грасгофа ( $Gr$ ), Рейнольдса ( $Re$ ), Прандтля ( $Pr$ )? Приведите их безразмерные комплексы.
4. Напишите критериальные уравнения для теплообмена при свободной и вынужденной конвекции в общем виде и дайте методику решения задач конвективного теплообмена с их помощью.
5. Сформулируйте теорему подобия Кирпичева-Гухмана.
6. Что такое определяющая температура и определяющий размер?

Тема 4

1. При каких условиях возникают процессы кипения и конденсации?
2. Как образуются пузырьки пара?
3. Назовите известные вам режимы кипения. Как влияет температурный напор на режимы кипения?
4. Опишите недостатки пленочного режима кипения.
5. От чего зависит величина коэффициента теплоотдачи при конденсации?
6. Как определяется масса образовавшегося конденсата?

Тема 5

1. Что понимается под тепловым излучением и в границах каких длин волн оно проявляется?
2. Сформулируйте закон Стефана-Больцмана для теплового излучения тел.
3. Что понимается под серым и абсолютно черными телами?
4. Как определяется лучистый поток между серыми телами, произвольно расположенными в пространстве, между параллельными плоскими стенками, между телом и оболочкой?
5. Для чего нужны экраны и какими свойствами они обладают?
6. Чем отличается излучение газов от излучения твердых тел?
7. Какие газы считаются прозрачными для тепловых лучей?
8. Напишите формулу для определения степени черноты газов.
9. Приведите уравнение лучистого теплообмена между газом и окружающими стенками и объясните значение составляющих величин.

Тема 6

1. Что называется теплопередачей?
2. Выведите уравнения теплопередачи через плоскую и цилиндрическую стенки на стационарном режиме. Приведите размерности коэффициента теплопередачи  $k$ .

3. За счет чего можно интенсифицировать теплопередачу?
4. Что называется критическим диаметром изоляции и как он определяется?

#### Тема 7

1. Какие виды теплообменных аппаратов вам известны?
2. Напишите уравнения теплового баланса и теплопередачи, используемые при расчете теплообменных аппаратов.
3. Напишите формулу для расчета среднелогарифмического температурного напора при прямотоке и противотоке. В каких случаях среднелогарифмический температурный напор можно заменить среднеарифметическим?
4. Какая величина называется условным эквивалентом и для чего она введена?
5. Какие преимущества имеет противоточная схема перед прямоточной?
6. Дайте графическое изображение изменения температуры горячего и холодного теплоносителей для случаев прямотока и противотока.

#### Тема 8

1. Что такое массообмен и как он осуществляется?
2. В каких случаях теплообмен сопровождается переносом массы?
3. Какие числа подобия входят в критериальные уравнения тепломассообмена? Что они характеризуют?
4. Сформулируйте закон Фика для потока массы, передаваемого молекулярной диффузией. Приведите размерность коэффициента молекулярной диффузии  $D$ .
5. Напишите формулу для потока вещества при конвективном массообмене. Приведите размерность коэффициента массоотдачи  $D$ .
6. Дайте анализ уравнения переноса массы и температурного поля в пористых телах.
7. Напишите уравнения для определения интенсивности тепломассообмена с поверхности тела и произведите анализ его составляющих.

### Раздел 3 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

#### 3 ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Приступая к изучению этой части, обратите внимание на роль теплоты в энергетическом балансе сельского хозяйства, современное состояние и перспективы развития сельскохозяйственной теплоэнергетики и применения теплоты в сельском хозяйстве. Изучите классификацию потребителей теплоты в сельском хозяйстве и графики их тепловой нагрузки.

##### 3.1 ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИЕ УСТАНОВКИ

###### Тема 1. Котельные установки

Котельные установки - сложные устройства, предназначенные для производства водяного пара или получения горячей воды. Изучение темы следует начать с принципиальных схем и описания котельных установок; ознакомиться с основным и вспомогательным оборудованием котельного агрегата; разобраться во взаимодействии систем, их назначении. Далее рассмотрите классификацию котельных установок по типам, назначению, производительности, давлению и температуре пара, организации движения пароводяной смеси.

###### Тема 2. Котлы

При изучении этой темы обратите основное внимание на котлы (паровые, водогрейные), используемые в сельском хозяйстве, на котлы-утилизаторы, на их характеристики. Одновременно следует ознакомиться с котлами средней и большой паропроизводительности. Изучите порядок распределения по газоходу котла конвективных поверхностей (пароперегревателя, водяного экономайзера и воздухоподогревателя), их конструкции. Проанализируйте такой порядок распределения с точки зрения обеспечения максимальной интенсификации передачи теплоты.

###### Тема 3. Тепловой баланс котельного агрегата

При проектировании котельного агрегата тепловой баланс, позволяет определить расчетный часовой расход топлива. Необходимо разобраться в приходной и расходной частях теплового баланса, в причинах потерь и способах их уменьшения; в методике выбора температуры уходящих газов из котельного агрегата; в определении коэффициента полезного действия котельного агрегата (брутто, и нетто); часового расхода и испарительности топлива.

###### Тема 4. Топочные устройства

Обратите внимание на слоевой, факельный (или камерный) и вихревой способы сжигания различных видов топлива; на способы организации смесеобразования и горения в них; средства механизации; устройство форсунок и горелок; на принципиальные конструктивные схемы

топочных устройств, их сравнительный анализ по тепловым напряжениям и теплопроизводительности. Вопросы сжигания пылевидного топлива следует изучать совместно с системами пылеприготовления и подачи топлива в топку, с конструкциями горелок.

Тема 5. Основные способы и схемы обработки котловой и питательной воды

Изучите требования, предъявляемые к питательной и котловой воде. Ознакомьтесь с составом примесей в сырой воде и методами их удаления, с питательными устройствами, со способами продувки котлов и деаэрации питательной воды.

Тема 6. Вспомогательные устройства котельных

Ознакомьтесь со схемами подачи воздуха и отвода продуктов сгорания в котельных установках, с назначением и условиями применения естественной и искусственной тяги, с расчетом дымовой трубы, с расчетом и выбором дымососа и дутьевого вентилятора.

Обратите внимание на принципы действия различных схем золоулавливания, золо- и шлакоудаления.

Тема 7. Основные сведения по эксплуатации котельных установок

Ознакомьтесь с особенностями эксплуатации котельных установок; с условиями образования осадений золы и накипи, возникновения коррозии низкотемпературных поверхностей нагрева и мерами борьбы с ними.

Обратите внимание на порядок гидравлических испытаний котлов, на основные положения техники безопасности, на средства автоматизации, на обеспечение надежности и экономичности работы котельных установок, на вопросы защиты окружающей среды. Изучите условия хранения котлов в межсезонный период.

Тема 8. Теплогенераторы

Для воздушного отопления и вентиляции производственных помещений сельскохозяйственного назначения, для сушки многих сельскохозяйственных культур широко применяются различные типы теплогенераторов. Изучите типы теплогенераторов, (их характеристики, системы автоматизации управления и безопасности. Ознакомьтесь с системами подачи и устройствами для сжигания жидкого и газообразного топлива. Уясните области использования тепло-генераторов в сельскохозяйственном производстве и особенности их эксплуатации.

Тема 9. Водонагреватели

В этой теме следует остановиться на изучении типов газовых водонагревателей, области их применения в сельском хозяйстве, автоматики регулирования температуры воды и автоматики безопасности.

Тема 10. Газовые отопительные приборы

В сельскохозяйственном производстве в качестве источников теплоты в системах местного отопления широко используются газовые отопительные приборы. Изучите конкретные области использования газовых отопительных приборов, в том числе газовых горелок инфракрасного излучения (ГИИ), их устройство. Принцип работы, особенности эксплуатации; расчет количества горелок для обогрева помещения; определение расхода газа.

Вопросы для самопроверки Тема 1

1. Дайте классификацию котельных установок по назначению, производительности, параметрам пара, организации движения пароводяной смеси.
2. Что входит в состав основного и вспомогательного оборудования?
3. Нарисуйте и объясните принципиальную тепловую схему котельной установки.

Тема 2

1. Что входит в состав котельного агрегата? Объясните назначение основных элементов котлоагрегата (пароперегревателя, экономайзера и воздухоподогревателя).
2. Назовите основные типы котлоагрегатов, используемых в сельском хозяйстве страны.

Приведите их характеристики.

Тема 3

1. Напишите уравнение теплового баланса котлоагрегата и объясните, что означают его составляющие и от чего зависят.
3. Чем отличается КПД брутто от КПД нетто?
4. Как определить часовой расход топлива?
5. Что такое условное топливо?
6. Что показывает испарительная способность топлива?

7. Как выбрать температуру уходящих газов?

Тема 4

1. Назовите основные способы сжигания топлива.

2. Назовите типы слоевых топок и область их применения по производительности котельного агрегата.

3. Какие системы пылеприготовления вам известны? Назовите основные элементы систем пылеприготовления.

4. Приведите принципиальные схемы устройства горелок и форсунок для сжигания газа и жидкого топлива и объясните принцип работы.

5. Какие приблизительно значения имеют тепловые напряжения топочного объема для камерных и слоевых топок? Что ограничивает допустимые тепловые напряжения топочного объема и зеркала горения?

Тема 5

1. Какие требования предъявляются к питательной воде?

2. Укажите состав примесей в сырой воде.

3. Назовите основные способы водоподготовки.

Тема 6

1. В каких случаях применяется естественная тяга и в каких искусственная? Значение тяги.

2. Напишите расчетные уравнения для определения высоты дымовой трубы при естественной тяге, производительности дутьевого вентилятора и дымососа.

3. Приведите классификацию золоулавливающих и золоудаляющих устройств.

Тема 7

1. Перечислите основные меры, принимаемые для удаления золовых осадений на хвостовых поверхностях котлоагрегата.

2. Назовите основные средства борьбы с коррозией хвостовых поверхностей нагрева.

3. Приведите причины возникновения накипеобразования в паровых котлах и меры, принимаемые для ее предотвращения.

4. Какие существуют способы очистки дымовых газов?

5. Какие требования предъявляются к средствам автоматизации котельных установок?

6. Перечислите основные положения техники безопасности при эксплуатации котельных установок.

Тема 8

1. Какие агрегаты принято называть теплогенераторами?

2. Опишите основные типы теплогенераторов, их характеристики, принцип работы.

3. Нарисуйте принципиальную схему теплогенератора и объясните его устройство.

4. Каковы основные правила техники безопасности при эксплуатации теплогенераторов?

Тема 9

1. Перечислите основные типы водонагревателей и области их применения в сельскохозяйственном производстве.

2. Нарисуйте схему емкостного автоматического газового водонагревателя (АГВ); объясните его устройство.

Тема 10

1. Где в сельскохозяйственном производстве используются газовые отопительные приборы?

2. Нарисуйте схему горелки инфракрасного излучения; объясните ее устройство; приведите методику определения количества горелок для обогрева помещения.

**11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства и информационных справочных систем (при необходимости).**

*11.1 Перечень лицензионного программного обеспечения*

1. Kaspersky Total Security - Антивирус

*11.3 Перечень программного обеспечения отечественного производства*

## 1. Kaspersky Total Security - Антивирус

При осуществлении образовательного процесса студентами и преподавателем используются следующие информационно справочные системы: СПС «Консультант плюс», СПС «Гарант».

## 12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№ п/п	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Номер аудитории	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Учебная аудитория для проведения занятий всех типов (в т.ч. лекционного, семинарского, практической подготовки обучающихся), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	206/ЭЭ Ф  304/ЭЭ Ф	<p>Оснащение: специализированная мебель на 117 посадочных мест, персональный компьютер – 1 шт., телевизор LG 65UH LED -1 шт., Звуковая аппаратура – 1 шт., документ-камера портативная Aver Vision – 1 шт., коммутатор Comrex DS – 1 шт., магнитно-маркерная доска 90x180 – 1шт, учебно-наглядные пособия в виде тематических презентаций, подключение к сети «Интернет», доступ в электронную информационно-образовательную среду университета, выход в корпоративную сеть университета.</p> <p>Оснащение: доска аудиторная – 1 шт, специализированная мебель на 25 посадочных мест, ноутбук LENOVO– 1 шт. подключение к сети «Интернет», доступ в электронную информационно-образовательную среду университета, выход в корпоративную сеть университета.</p>

		106/ЭЭ Ф	"Оснащение: ученические парты на 36 посадочных мест, трибуна 1 шт., ученические стенды – 2 шт., лабораторный стенд «Опытная иллюстрация уравнения Бернулли» - 1 шт., лабораторный стенд «Определение гидравлических коэффициентов трения в трубопроводе» - 1 шт., лабораторный стенд «Определение коэффициентов местных сопротивлений» - 1 шт., лабораторный стенд «Изучение работы сифона» - 1 шт., лабораторный стенд «Истечение жидкости через отверстия и насадки» - 1 шт., лабораторный стенд «Изучение режимов движения жидкости (опыт Рейнольдса)» - 1 шт., лабораторный стенд «Испытание центробежного насоса» - 1 шт., лабораторный стенд «Теплотехника и термодинамика» - 1 шт., лабораторный стенд «Автономная система отопления» - 1 шт. ноутбук LENOVO – 1 шт. подключение к сети «Интернет», доступ в электронную информационно-образовательную среду университета, выход в корпоративную сеть университета."
2	Помещение для самостоятельной работы обучающихся, подтверждающее наличие материально-технического обеспечения, с перечнем основного оборудования		
		213/НК библио тека	Специализированная мебель на 35 посадочных мест, дисплей - 1 шт., принтер ч/б - 2 шт., МФУ ч/б - 2 шт., сканер - 2 шт., открытый доступ к фонду справочной, краеведческой литературы, Wi-Fi оборудование, подключение к сети «Интернет», доступ к российским и международным ресурсам и базам данных, доступ к электронно-библиотечным системам, доступ в электронную информационно-образовательную среду университета. Открытый доступ к фонду справочной и краеведческой литературы.

### 13. Особенности реализации дисциплины лиц с ограниченными возможностями здоровья

Обучающимся с ограниченными возможностями здоровья предоставляются специальные учебники и учебные пособия, иная учебная литература, специальные технические средства обучения коллективного и индивидуального пользования, предоставление услуг ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь, а также услуги сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

а) для слабовидящих:

- на промежуточной аттестации присутствует ассистент, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (он помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе записывая под диктовку);

- задания для выполнения, а также инструкция о порядке проведения промежуточной аттестации оформляются увеличенным шрифтом;

- задания для выполнения на промежуточной аттестации зачитываются ассистентом;

- письменные задания выполняются на бумаге, надиктовываются ассистенту;

- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;

- студенту для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство;

в) для глухих и слабослышащих:

- на промежуточной аттестации присутствует ассистент, оказывающий студенту необходимую техническую помощь с учетом индивидуальных особенностей (он помогает занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, в том числе записывая под диктовку);

- промежуточная аттестация проводится в письменной форме;

- обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования, при необходимости поступающим предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования;

- по желанию студента промежуточная аттестация может проводиться в письменной форме;

д) для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата (тяжелыми нарушениями двигательных функций верхних конечностей или отсутствием верхних конечностей):

- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением или надиктовываются ассистенту;

- по желанию студента промежуточная аттестация проводится в устной форме.

Рабочая программа дисциплины «Теплотехника» составлена на основе Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания (приказ Минобрнауки России от 17.08.2020 г. № 1047).

Автор (ы)

\_\_\_\_\_ доц. , кфмн Яновский Александр Александрович

Рецензенты

\_\_\_\_\_ доц. , ктн Рубцова Елена Ивановна

\_\_\_\_\_ доц. , ктн Гринченко Виталий Анатольевич

Рабочая программа дисциплины «Теплотехника» рассмотрена на заседании Кафедры электротехники, физики и охраны труда протокол № 8 от 12.03.2026 г. и признана соответствующей требованиям ФГОС ВО и учебного плана по направлению подготовки 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Яновский Александр Александрович

Рабочая программа дисциплины «Теплотехника» рассмотрена на заседании учебно-методической комиссии Менеджер 5 (ИДПО) протокол № 8 от 14.03.2026 г. и признана соответствующей требованиям ФГОС ВО и учебного плана по направлению подготовки 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания

Руководитель ОП \_\_\_\_\_